

Monika MUSZYŃSKA

DOI 10.14746/ssp.2025.2.14

Akademia Nauk Stosowanych w Koninie

 ORCID: 0000-0001-6684-962X

Czy jesteśmy eko? Rola technologii w rewolucjonizowaniu przemysłu tworzyw sztucznych

Streszczenie: W dobie rosnącej świadomości ekologicznej, przemysł tworzyw sztucznych staje przed pilnym wyzwaniem redukcji swojego śladu węglowego i wpływu na środowisko. Kluczową rolę odgrywa tu technologia, która nie tylko wspiera zrównoważony rozwój, ale także umożliwia odzysk energii z procesów produkcyjnych. Dzięki innowacjom takim jak piroliza czy zaawansowane metody katalityczne, energia zużyta w produkcji może być częściowo odzyskana i ponownie wykorzystana, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na pierwotne źródła energii. Jednak, wraz z rosnącym trendem na ekologiczną produkcję, obserwuje się także problem *greenwashingu*¹. Niektóre firmy, instytucje i media promują swoje działania jako ekologiczne bez realnych efektów środowiskowych, co prowadzi do dezinformacji konsumentów.

Słowa kluczowe: tworzywa sztuczne, greenwashing, recykling, gospodarka cyrkularna, LCA

Wstęp

Współczesny świat staje przed wyzwaniem znalezienia równowagi między rozwojem gospodarczym a ochroną środowiska. W centrum tej debaty znajduje się problem tworzyw sztucznych, które z jednej strony, są nieodzownym elementem codziennego życia, a z drugiej,

¹ *Greenwashing* to taktyka stosowana przez różne firmy, organizacje i instytucje, która ma na celu przedstawienie ich produktów, działań lub strategii jako korzystnych dla środowiska naturalnego. Jednak, za deklaracjami nie idą w tym przypadku fatyczne działania, a celem tej komunikacji jest wprowadzanie konsumentów w błąd, by doprowadzić do zwiększenia zysków lub zbudowania określonej reputacji.



stanowią istotne zagrożenie dla ekosystemów. W ostatnich latach rosnąca świadomość ekologiczna doprowadziła do podejmowania działań mających na celu ograniczenie produkcji i zużycia plastiku. Jednak czy eliminacja tworzyw sztucznych jest zawsze najlepszym rozwiązaniem? A może innowacyjne technologie mogą pomóc w ich bardziej zrównoważonym wykorzystaniu?

Hipoteza badawcza: rozwój nowoczesnych technologii recyklingu oraz odzysku energii z odpadów z tworzyw sztucznych może stanowić skuteczniejszy i bardziej zrównoważony sposób ograniczania ich negatywnego wpływu na środowisko niż całkowita eliminacja tych materiałów z gospodarki.

Redukcja zużycia produktów wykonanych z tworzyw sztucznych to jedno z kluczowych założeń polityki ekologicznej w wielu krajach. W Polsce na przykład, od 2021 roku obowiązuje zakaz sprzedaży jednorazowych sztućców, talerzy czy słomek wykonanych z tworzyw sztucznych, co stanowi element szerszej strategii Unii Europejskiej zmierzającej do ograniczenia odpadów. Tego typu regulacje są konieczne, ponieważ takie odpady, zwłaszcza jednorazowego użytku, stanowią ogromne obciążenie dla środowiska naturalnego. Niemniej jednak warto zastanowić się, czy każde ograniczenie przynosi wyłącznie pozytywne skutki. W niektórych przypadkach alternatywne materiały, takie jak papier czy bioplastiki, mają większy ślad węglowy lub wymagają intensywniejszego zużycia zasobów naturalnych.

W tym kontekście kluczową rolę odgrywają nowoczesne technologie, które rewolucjonizują przemysł tworzyw sztucznych. Innowacyjne metody recyklingu, takie jak recykling chemiczny, pozwalają na rozkład tworzyw do ich podstawowych składników chemicznych, co umożliwia ponowne wykorzystanie materiału na poziomie zbliżonym do surowca pierwotnego. Dodatkowo technologie umożliwiające odzysk energii z odpadów mogą znacząco zmniejszyć zapotrzebowanie na paliwa kopalne. Przykładem może być piroliza, proces pozwalający na przekształcenie zużytych tworzyw w paliwa ciekłe lub gazowe.

Pomimo postępu technologicznego i regulacji prawnych, problemem pozostaje *greenwashing* – zjawisko, w którym firmy promują swoje działania jako ekologiczne, choć w rzeczywistości ich wpływ na środowisko pozostaje niewielki. Konsumenci, zachęceni do wyboru alternatywnych produktów, często nie mają świadomości, że niektóre z nich są równie szkodliwe jak tradycyjne tworzywa sztuczne. Dlatego też kluczowe jest nie tylko ograniczanie tworzyw sztucznych, ale także rozwijanie skutecz-

nych technologii recyklingu i odzysku energii, które mogą przyczynić się do rzeczywistej poprawy stanu środowiska.

W niniejszej pracy zastosowano metodę analizy dostępnych źródeł literaturowych, obejmującą opracowania naukowe, raporty branżowe oraz dokumenty strategiczne dotyczące polityki ekologicznej i zrównoważonego rozwoju.

1. *Greenwashing* i jego konotacje polityczne

Zjawisko *greenwashingu*, choć początkowo kojarzone głównie z praktykami marketingowymi, w ostatnich latach stało się również narzędziem polityki i regulacji publicznych. Termin ten oznacza sytuację, w której organizacje – w tym przedsiębiorstwa, instytucje państwowe czy partie polityczne – przedstawiają swoje działania jako ekologiczne, mimo że nie przynoszą one realnych korzyści środowisku. Według Delmas i Burbano (2011, s. 65–67) *greenwashing* łączy w sobie dwa elementy: komunikację proekologiczną oraz brak faktycznej zgodności z nią w praktyce. Zjawisko to nie tylko zniekształca percepcję konsumentów, ale także osłabia zaufanie do całego ruchu ekologicznego. W kontekście politycznym *greenwashing* staje się narzędziem wpływu i legitymizacji działań państw oraz korporacji. Lyon i Montgomery (2015, s. 226–228) wskazują, że rządy i organizacje międzynarodowe często wykorzystują retorykę zrównoważonego rozwoju, aby budować pozytywny wizerunek, nie podejmując jednak działań prowadzących do rzeczywistych zmian systemowych. Przykładem może być unijna taksonomia dla zrównoważonych inwestycji, która mimo ambitnych założeń bywa również krytykowana za umożliwianie finansowania projektów opartych na paliwach kopalnych. Tego rodzaju praktyki mogą podważać wiarygodność polityki klimatycznej Unii Europejskiej oraz utrudniać transformację energetyczną. Zjawisko to przenika również na poziom komunikacji publicznej i medialnej. Kampanie reklamowe koncernów energetycznych, przedstawiające paliwa kopalne jako element „zielonej transformacji”, są typowym przykładem *greenwashingu* polityczno-korporacyjnego. Często wykorzystują one estetykę i język ekologii, aby utrzymać *status quo* w sektorze przemysłowym i odsunąć w czasie konieczność głębokiej dekarbonizacji. Jak zauważa Bratman (2020, s. 490–493), *greenwashing* działa nie tylko poprzez dezinformację, lecz także poprzez „odwracanie uwagi” społeczeństwa od realnych źródeł problemu i odpowiedzialności

systemowej. Polityczne konotacje *greenwashingu* są również widoczne w strategiach korporacyjnych związanych z odpowiedzialnością społeczną biznesu (CSR). Wiele firm wykorzystuje działania proekologiczne jako sposób budowania kapitału reputacyjnego i unikania regulacji. W efekcie strategie zrównoważonego rozwoju bywają pozbawione mierzalnych celów i ograniczają się do komunikacji wizerunkowej. Europejska Komisja (2023) w raporcie „Empowering Consumers for the Green Transition” zwraca uwagę, że ponad 50% analizowanych deklaracji ekologicznych w internecie okazało się niepopartych dowodami (European Commission, 2022, s. 4–6). Zjawisko to skłoniło Unię Europejską do opracowania tzw. Green Claims Directive, mającej na celu ujednolicenie i kontrolę komunikacji ekologicznej na rynku. *Greenwashing* ma zatem wymiar zarówno ekonomiczny, jak i polityczny. Wpływa na decyzje inwestycyjne, konsumenckie i legislacyjne, a jego skutki obejmują nie tylko rynek, lecz także sferę ideologiczną i społeczną. Z tego względu analiza zjawiska wymaga interdyscyplinarnego podejścia łączącego nauki techniczne, ekonomiczne i społeczne, które pozwala zrozumieć, jak pozorne działania proekologiczne kształtują współczesną politykę środowiskową oraz tempo rzeczywistej transformacji energetycznej, która często jest tylko produktem marketingowym.

2. Czy torba bawełniana jest najlepszym wyborem?

Dyskusje na temat ekologiczności różnych materiałów i produktów regularnie powracają w mediach społecznościowych, budząc wiele emocji i kontrowersji. Jednym z tematów, który co jakiś czas zyskuje na popularności, jest wpływ toreb bawełnianych na środowisko. Choć powszechnie uważa się je za bardziej ekologiczną alternatywę dla toreb jednorazowych wykonanych z tworzyw sztucznych, niektóre badania sugerują, że ich produkcja wiąże się z ogromnym zużyciem zasobów, zwłaszcza wody i energii. Często przywoływanym argumentem jest wynik analizy, według której torba wykonana z bawełny ekologicznej musiałaby zostać użyta aż 20 tysięcy razy, aby jej wpływ na środowisko zrównał się z plastikową torbą. Dla wielu osób ta liczba była szokująca i trudna do uwierzenia – oznaczałoby to, że jedna torba musiałaby nam służyć przez dziesiątki lat, aby faktycznie „opłacało się” jej używać z perspektywy ekologicznej. Inni jednak sugerują, że dane te mogą być interpretowane w sposób wybiórczy i nie uwzględniają wszystkich aspektów wpływu plastikowych

odpadów na ekosystemy. Czy rzeczywiście bawełniane torby są tak problematyczne, jak wskazują niektóre analizy? Czy plastikowe alternatywy, mimo złej sławy, są w rzeczywistości bardziej przyjazne środowisku? W niniejszym opracowaniu dokonano szczegółowej analizy źródeł informacji, oceniono ich metodologię oraz przeanalizowano rzeczywistą równowagę ekologiczną pomiędzy omawianymi rozwiązaniami.

Podstawowe typy toreb zakupowych:

Wybór odpowiedniej torby na zakupy to nie tylko kwestia wygody, ale również świadomej decyzji ekologicznej. W ostatnich latach pojawia się wiele opinii dotyczących wpływu różnych rodzajów toreb na środowisko. Wśród dostępnych opcji znajdują się torby z tworzyw sztucznych, materiałowe, papierowe oraz biopolimerowe. Każdy z tych materiałów ma swoje zalety i wady, które warto przeanalizować przed podjęciem decyzji.

- **Torby z LDPE** (polietylenu o niskiej gęstości): To klasyczne „plastikowe reklamówki”, które mogą mieć miękkie lub sztywne uchwyty. Są lekkie, tanie i powszechnie stosowane. Występują również w bardziej wytrzymałych wersjach, jednak ich wpływ na środowisko jest znaczący, zwłaszcza gdy trafiają do natury i rozkładają się przez setki lat.
- **Torby z PP z włókniny (polipropylenowej)**: Są trwalsze od tych z LDPE i przeznaczone do wielokrotnego użytku. Dzięki swojej strukturze mogą znieść większe obciążenia i uszkodzenia mechaniczne, dlatego często promuje się je jako bardziej ekologiczną alternatywę.
- **Torby z PP z plecionego włókna**: Podobnie jak poprzedni typ, charakteryzują się zwiększoną odpornością na rozdarcia i są projektowane z myślą o wielokrotnym.
- **Torba materiałowa** – wykonana z naturalnych włókien, takich jak bawełna lub juta, zaprojektowana z myślą o wielokrotnym użytkowaniu. Może być produkowana zarówno z materiałów organicznych, jak i konwencjonalnych, co wpływa na jej ślad ekologiczny. Chociaż jest bardziej trwała niż torby z tworzyw sztucznych, jej proces produkcji często wymaga dużych ilości wody i energii.
- **Torba kompozytowa** – składa się z różnych materiałów, łącząc np. tkaniny z tworzywami sztucznymi. Przykładem takiego rozwiązania jest torba, w której jutowy worek został połączony z polipropylenowym uchwytem. Tego rodzaju konstrukcja może poprawiać funkcjonalność

i wytrzymałość torby, ale jednocześnie może utrudniać jej recykling, ponieważ wymaga oddzielenia poszczególnych komponentów.

Nie ma jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie. Wybór odpowiedniej torby zależy od częstotliwości jej użytkowania i sposobu utylizacji. Torby z tworzyw sztucznych mogą być problematyczne dla środowiska, ale jeśli są wielokrotnie używane i odpowiednio utylizowane, ich ślad ekologiczny może być niższy niż w przypadku toreb bawełnianych. Z kolei torby materiałowe są bardziej trwałe, ale wymagają dużych nakładów energii do produkcji. Najważniejszą zasadą jest **wielokrotne użycie** każdej torby – im dłużej korzystamy z jednej torby, tym mniejszy jej wpływ na środowisko. Jeśli już posiadamy torbę bawełnianą, warto z niej korzystać jak najczęściej, zamiast kupować kolejne.

Aby pełniej zrozumieć wpływ różnych rodzajów toreb na środowisko, warto przyrzeć się wynikom szczegółowych analiz cyklu życia (LCA). Badania przeprowadzone przez instytucje takie jak Duńska Agencja Ochrony Środowiska (*Danish Environmental Protection Agency*) pokazują, że różne rodzaje toreb mają różne konsekwencje ekologiczne, które są zależne od materiału, procesu produkcji oraz sposobu użytkowania.

Cykl życia toreb: produkcja, użytkowanie, utylizacja

W każdej torbie, niezależnie od materiału, kluczowe znaczenie ma całkowity cykl życia, który obejmuje wszystkie etapy – od surowców, przez produkcję, transport, użytkowanie, aż po utylizację. Na przykład, torby wykonane z LDPE (polietylen o niskiej gęstości), które są najczęściej używane w formie jednorazowych reklamówek, mają stosunkowo niski wpływ ekologiczny podczas produkcji, ale ich degradacja w środowisku trwa bardzo długo, co sprawia, że stanowią poważne zagrożenie dla ekosystemów, zwłaszcza w przypadku niewłaściwego wyrzucenia. Torby wykonane z materiałów takich jak bawełna czy juta, choć uchodzą za bardziej ekologiczne ze względu na naturalne surowce, wiążą się z dużym zużyciem wody oraz energii podczas produkcji. Produkcja bawełny, zwłaszcza w wersji konwencjonalnej, wymaga intensywnego wykorzystania pestycydów i nawozów, co może prowadzić do degradacji gleby oraz zanieczyszczenia wód gruntowych. Warto jednak zauważyć, że torby materiałowe mają znacznie dłuższą żywotność i mogą być wielokrotnie wykorzystywane, co obniża ich wpływ na środowisko, jeśli są odpowiednio eksploatowane.

Wpływ nawożenia na degradację środowiska

Jednym z globalnych problemów ekologicznych jest nadmierne wykorzystanie fosforu i azotu w rolnictwie, co prowadzi do intensywnej eksploatacji gleb i konieczności ich ciągłego nawożenia. To z kolei przyczynia się do eutrofizacji wód, czyli ich przeżyźnienia, które negatywnie wpływa na ekosystemy wodne. Jeśli w analizie cyklu życia toreb na zakupy weźmiemy pod uwagę właśnie ten aspekt, wyniki nie ulegają dużym zmianom – torby poliestrowe nadal pozostają najkorzystniejszym wyborem. Co jednak warto podkreślić, torba bawełniana – zwłaszcza wykonana z bawełny ekologicznej – wymagałaby około 1600 użyć, aby zrekompensować negatywny wpływ produkcji na środowisko (jeśli jako kryterium przyjmimy eutrofizację wód) (Ministerstwo Środowiska Dantii, 2018). Przy założeniu, że torba jest używana dwa razy w tygodniu, oznaczałoby to konieczność jej wykorzystywania przez około 15 lat, aby jej produkcja miała sens ekologiczny.

Mikroplastik a ocena cyklu życia

Jednym z aspektów, który często umyka w tego typu analizach, jest kwestia mikroplastiku generowanego przez torby foliowe. Niestety, ten problem nie jest jeszcze w pełni uwzględniany w modelach matematycznych stosowanych w ocenie cyklu życia produktów, głównie z powodu braku jednoznacznych danych naukowych. Polietylen, z którego wytwarzane są torby foliowe, jest tworzywem biozgodnym, co oznacza, że sam w sobie nie jest toksyczny. Jego największym zagrożeniem jest jednak zdolność do akumulowania się w organizmach wodnych. Z kolei torby wielorazowe wykonane z polipropylenu (PP) czy politereftalanu etylenu (PET) rzadziej trafiają do środowiska naturalnego, co minimalizuje ryzyko powstawania mikroplastiku wtórnego.

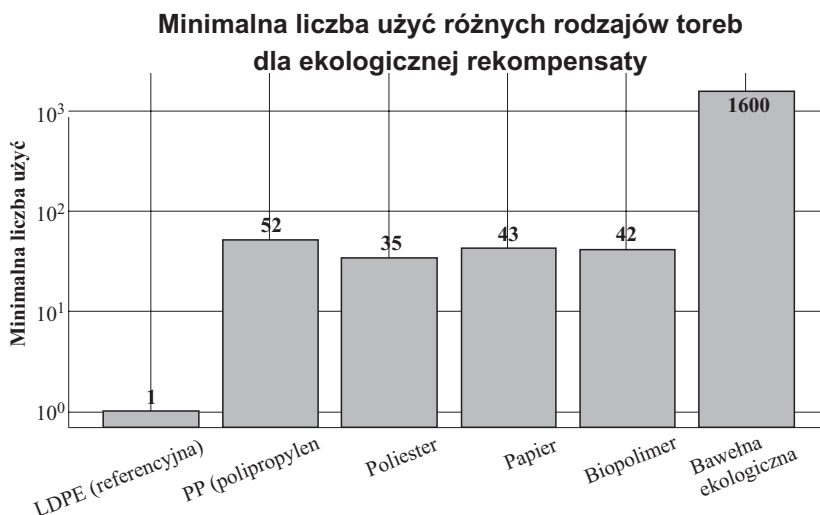
Podstawowe wnioski z badań nad torbami na zakupy

Analiza cyklu życia różnych rodzajów toreb uwzględnia wiele czynników, ale złożoność tego tematu sprawia, że często pojawiają się uproszczenia i manipulacje wynikami. Podsumowując, można wyróżnić kilka kluczowych wniosków:

- **Bawełna nie jest najlepszym wyborem** – produkcja bawełnianych toreb, zwłaszcza tych wykonanych z bawełny ekologicznej, wiąże się z ogromnym obciążeniem dla środowiska.

- **Torby wielorazowe z tworzyw sztucznych są bardziej zrównoważone** – ich wpływ na środowisko jest porównywalny z torbami papierowymi i „bioplastikowymi”, ale dzięki większej trwałości mogą być używane przez dłuższy czas.
- **Najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest torba poliestrowa** – charakteryzuje się ona nie tylko dużą wytrzymałością, ale także trzykrotnie mniejszą masą w porównaniu do innych polimerowych toreb wielorazowych, co wpływa na jej niższy ślad środowiskowy (Ministerstwo Środowiska Danii, 2018).

Wykres 1. Minimalna liczba użyć toreb zakupowych



Źródło: Ministerstwo Środowiska Danii, 2018.

Wykres 1 przedstawia liczbę ponownych użyć różnych rodzajów toreb na zakupy, które są wymagane, aby zrównoważyć ich wpływ na środowisko w porównaniu do standardowej torby LDPE (polietylenowej). Wykres uwzględnia dane dotyczące torby bawełnianej, poliestrowej, papierowej, biopolimerowej oraz z polipropylenu (PP). Powyższy wykres przedstawia minimalną liczbę użyć różnych rodzajów toreb na zakupy, które są wymagane, aby ich wpływ na środowisko był porównywalny do standardowej torby LDPE. Skala logarytmiczna ułatwia porównanie – widać wyraźnie, że torby bawełniane wymagają znacznie więcej ponownych użyć niż np. torby poliestrowe czy polipropylenowe.

Dane przedstawione na wykresie wskazują, że:

- **torby poliestrowe i polipropylenowe stanowią najbardziej efektywne ekologicznie rozwiązania** spośród wielorazowych alternatyw, gdyż ich produkcja generuje mniejszy ślad węglowy w przeliczeniu na jedno ponowne użycie;
- **torby bawełniane, pomimo powszechnej opinii o ich ekologiczności, okazują się najbardziej problematyczne** – ich wyprodukowanie wiąże się z dużym zużyciem zasobów i emisją zanieczyszczeń, co sprawia, że ich przewaga nad LDPE ujawnia się dopiero po bardzo długim okresie użytkowania;
- **torby papierowe i biopolimerowe nie są optymalnym wyborem** – choć w teorii są bardziej ekologiczne, ich trwałość jest ograniczona, co prowadzi do konieczności częstej wymiany i zwiększonej produkcji.

Jak podejść do wyboru torby w sposób świadomy?

Dyskusje o torebkach bawełnianych często koncentrują się na argumentach, że użytkownicy mają je od wielu lat i używają ich regularnie. To bardzo dobra praktyka, ale warto uporządkować kilka kluczowych zasad:

- **Korzystaj z tego, co już masz** – jeśli torba została już wyprodukowana, jej koszt środowiskowy został poniesiony. Dlatego warto używać jej jak najdłużej, zamiast kupować nową.
- **Jeśli masz możliwość – przerabiaj stare materiały na torby** – można wykorzystać niepotrzebne ubrania do stworzenia nowych toreb, ale pamiętajmy, że kupowanie taniej odzieży, która szybko się niszczy, nie jest ekologicznym rozwiązaniem. „Bawełna z odzysku” to dobry argument tylko wtedy, gdy rzeczywiście nie nadaje się już do noszenia.
- **Jeśli zapomnisz torby na zakupy – nie kupuj nowej, użyj tzw. foliówki ponownie** – w Polsce nie funkcjonuje jeszcze system zwrotu toreb wielorazowych, więc zamiast kupować kolejną torbę, lepiej skorzystać z tzw. „plastikowej reklamówki” i później jej ponownie użyć.
- **Jeśli często brudzisz torby wielorazowe – rozważ zakup torby z polipropylenu** – torby PP nie mają struktury włóknistej, dzięki czemu są łatwe w czyszczeniu i nie wymagają prania, co zmniejsza ich ślad środowiskowy. Warto szukać modeli wykonanych z recyklingu.
- **Jeśli chcesz kupić nową torbę wielorazową – wybierz PP lub poliester** – torby z polipropylenu są trwałe, łatwe w utrzymaniu i mają stosunkowo niski wpływ na środowisko. Torby poliestrowe są także

dobrym wyborem, choć w przypadku ich struktury włóknistej istnieje ryzyko emisji mikroplastiku podczas prania.

3. „Biedna słomka plastikowa i biedny żółw”²

Źródła zanieczyszczeń z tworzyw sztucznych w oceanach i wyzwania związane z ich redukcją

Badania przeprowadzone przez naukowców związanych z organizacją Ocean Cleanup, zajmującą się opracowywaniem technologii do oczyszczania wód, wykazały, że blisko 46% plastikowych odpadów morskich pochodzi z porzuconych sieci rybackich (The Ocean Cleanup, 2021). Problem ten stanowi istotne zagrożenie dla ekosystemów wodnych, przyczyniając się do tzw. „widmowego połowu” – sytuacji, w której pozostawione w wodzie pułapki nadal łowią organizmy morskie, mimo że nie są już wykorzystywane do celów komercyjnych. W 2013 roku Virginia Institute of Marine Science oszacował, że porzucone i zagubione pułapki na kraby prowadzą do niekontrolowanego schwytania około 1,25 miliona krabów rocznie. Problem ten został dostrzeżony już na początku lat 90, kiedy to kraje należące do Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) wprowadziły zasadę odpowiedzialności za utracony sprzęt połowowy. W ramach tych regulacji firmy rybackie miały obowiązek usuwania zagubionych narzędzi połowowych lub ponoszenia konsekwencji finansowych za ich pozostawienie w środowisku morskim.

Nierówności w zarządzaniu odpadami plastikowymi

Pomimo wprowadzenia mechanizmów mających na celu redukcję plastikowych odpadów, nie wszystkie państwa są w stanie sprostać tym wymaganiom. Wysoko rozwinięte kraje zazwyczaj posiadają rozbudowaną infrastrukturę umożliwiającą skuteczne zagospodarowanie odpadów morskich. Jednak dla biedniejszych państw, które nie dysponują odpo-

² Kampanie na rzecz zaprzestania używania słomek rozpoczęły się w 2015 roku, gdy w Internecie pojawił się film z żółwiem, który miał w nozdrzu całą plastikową słomkę. Problem zanieczyszczenia wód plastikiem stawał się coraz bardziej rozpoznawalny, a ruch zero waste rósł w siłę. W 2015 roku internet obiegił film, w którym grupa biologów morskich wyciąga plastikową słomkę, która utknęła w nozdrzu żółwia morskiego.

wiednimi zasobami finansowymi i technologicznymi, wyzwanie to jest znacznie trudniejsze do przezwyciężenia. Dane wskazują, że 93% plastiku dostającego się do oceanów pochodzi zaledwie z dziesięciu rzek, wśród których znajdują się m.in. Jangcy, Indus oraz Żółta Rzeka. Regiony te charakteryzują się ograniczoną możliwością skutecznego zarządzania odpadami, co prowadzi do ich niekontrolowanego przedostawiania się do środowiska wodnego (United Nations Environment Programme, 2018). W przeciwieństwie do państw rozwiniętych, gdzie odpady są zazwyczaj segregowane i utylizowane zgodnie z obowiązującymi normami, w krajach rozwijających się często brakuje odpowiednich struktur i instytucji wspierających zrównoważoną gospodarkę odpadami.

Alternatywa? Papierowe słomki – czy faktycznie słuszny wybór?

Naukowcy z Uniwersytetu w Antwerpii przeprowadzili analizę, z której wynika, że słomki wykonane z papieru oraz bambusa mogą przyczyniać się do zanieczyszczenia środowiska tzw. „wiecznymi chemikaliami”. Substancje te, znane jako związki poli- i perfluoroalkilowe (PFAS³), zostały wykryte w większości badanych słomek, niezależnie od materiału, z którego zostały wykonane. Obecność PFAS stwierdzono nawet w słomkach metalowych i szklanych, natomiast jedynym wyjątkiem okazały się produkty wykonane ze stali nierdzewnej. Badania wykazały, że aż 69% analizowanych słomek zawierało trwałe i potencjalnie szkodliwe substancje chemiczne, takie jak PFAS (Groffen, 2023, s. 1421–1433). Te związki, obecne w środowisku na całym świecie, mogą negatywnie wpływać zarówno na ekosystemy, jak i na zdrowie człowieka. Dzięki właściwościom hydrofobowym i odporności na wysokie temperatury PFAS znajdują szerokie zastosowanie w produkcji m.in. naczyń kuchennych, odzieży, mebli, a także klejów i środków gaśniczych. Dodatkowo, w słomkach wykryto kwas trifluorooctowy (TFA) oraz kwas trifluorometanosulfonowy (TFMS). Substancje te cechują się wysoką rozpuszczalnością w wodzie, co może prowadzić do ich przenikania z materiału słomek do napojów. Najwyższe stężenia tych związków zaobserwowano w słomkach wykonanych z papieru oraz bambusa (Focus.pl, 2023).

³ PFAS to grupa około 15 tysięcy substancji syntetycznych, które są szkodliwe dla zdrowia zwierząt. Gromadzą się one w przyrodzie i przez długi czas nie ulegają rozkładowi. Powszechnie dodaje się je do plastikowych i papierowych słomek ze względu na ich wodoodporność.

4. Nowoczesne technologie recyklingu tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne odgrywają kluczową rolę w nowoczesnym społeczeństwie, ale ich utylizacja stanowi istotne wyzwanie środowiskowe. Wzrost produkcji plastiku i jego długi czas degradacji wymuszają rozwój efektywnych technologii recyklingu. W artykule omówione zostaną nowoczesne metody przetwarzania tworzyw sztucznych, ich zalety, ograniczenia oraz wpływ na środowisko.

Recykling mechaniczny

Wyjaśnienie procesu: recykling mechaniczny polega na sortowaniu, rozdrabnianiu, myciu i ponownym przetapianiu tworzyw sztucznych w celu wytworzenia nowych produktów. Proces ten obejmuje kilka etapów:

- **sortowanie** – oddzielanie różnych rodzajów plastiku za pomocą technologii optycznych, elektrostatycznych lub ręcznych metod segregacji;
- **rozdrabnianie** – przekształcanie odpadów plastikowych w mniejsze fragmenty (*flakes*);
- **mycie i oczyszczanie** – usuwanie zanieczyszczeń, takich jak etykiety, kleje i resztki produktów;
- **ekstruzja i granulacja** – topienie i formowanie plastiku w nowe granulki, które mogą być ponownie wykorzystane w produkcji.

Ograniczenia – recykling mechaniczny, mimo swojej efektywności, posiada pewne ograniczenia:

- **degradacja jakości (*downcycling*)** – wielokrotne przetwarzanie tworzyw sztucznych prowadzi do pogorszenia ich właściwości mechanicznych i estetycznych;
- **problemy z zanieczyszczeniami** – trudność w usuwaniu dodatków chemicznych, barwników i innych substancji obniżających jakość końcowego produktu;
- **ograniczenia w recyklingu wielowarstwowych opakowań** – niektóre produkty, jak laminaty, są trudne do oddzielenia i ponownego wykorzystania.

Odzysk energii: spalanie tworzyw sztucznych – jednym z powszechnie stosowanych procesów odzysku energii jest spalanie odpadów plastikowych w celu wytworzenia energii cieplnej i elektrycznej. Systemy te są popularne w krajach takich, jak Szwecja, gdzie odpady te stanowią istotne źródło energii.

Wady środowiskowe: mimo korzyści energetycznych, spalanie tworzyw sztucznych budzi kontrowersje ze względu na:

- **zanieczyszczenie powietrza** – emisja dioksyn, furanów i innych szkodliwych substancji do atmosfery;
- **negatywne postrzeganie społeczne** – społeczeństwo często postrzega spalanie jako mniej ekologiczne rozwiązanie w porównaniu do recyklingu materiałowego (Ragaert, Delva, Van Geem, 2017, s. 24–58).

Rola zakładów odzysku energii – zakłady odzysku energii odgrywają istotną rolę w regionach o ograniczonych możliwościach recyklingu, redukując ilość odpadów trafiających na składowiska.

Recykling chemiczny

Metody i zalety: recykling chemiczny umożliwia rozkład polimerów na ich pierwotne składniki chemiczne, które mogą być ponownie wykorzystane w produkcji nowych materiałów. Do najważniejszych metod należą:

- **piroliza** – podgrzewanie plastiku w warunkach beztlenowych w celu uzyskania olejów i gazów syntezowych;
- **gazyfikacja** – przekształcanie odpadów w gaz syntezowy, który może być wykorzystany jako paliwo;
- **hydroliza i solwoliza** – rozkład plastiku za pomocą reakcji chemicznych z wodą lub rozpuszczalnikami, prowadzący do odzysku monomerów.

Zalety recyklingu chemicznego

- **możliwość przetwarzania zanieczyszczonych odpadów** – metoda ta pozwala na recykling plastiku zawierającego barwniki, dodatki i inne substancje trudne do usunięcia w procesach mechanicznych;
- **brak degradacji właściwości materiału** – odzyskane monomery mogą być wykorzystane do produkcji nowych tworzyw sztucznych o jakości porównywalnej do oryginalnych materiałów (Singh i in., 2017, s. 409–422).

Biodegradowalne tworzywa sztuczne i recykling organiczny

Biotworzywa: alternatywą dla konwencjonalnych plastików są biodegradowalne polimery, które mogą być kompostowane lub poddawane fermentacji w celu uzyskania biogazu. Przykłady obejmują:

- **PLA (kwas polimlekowy)** – biodegradowalny plastik stosowany w opakowaniach i medycynie;
- **PHA (polihydroksyalkaniany)** – polimery produkowane przez bakterie, mogące ulec biodegradacji w warunkach naturalnych.

Ograniczenia:

- **specjalne warunki degradacji** – niektóre bioplastiki wymagają wysokiej temperatury i wilgotności, aby ulec rozkładowi;
- **rywalizacja z żywnością** – produkcja biotworzyw często wymaga surowców rolnych, co może wpływać na ceny i dostępność żywności.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza pozwala na potwierdzenie zasadności postawionej hipotezy badawczej, zgodnie z którą rozwój nowoczesnych technologii recyklingu i odzysku energii z odpadów tworzyw sztucznych może stanowić bardziej zrównoważone i efektywne rozwiązanie niż całkowite wyeliminowanie plastiku z gospodarki. Zgromadzone dane literaturowe oraz analiza cyklu życia produktów wskazują, że problem ograniczania zużycia tworzyw sztucznych jest znacznie bardziej złożony, niż mogłoby się wydawać, a jego uproszczenie do zakazu ich stosowania nie znajduje uzasadnienia środowiskowego.

Nie wszystkie materiały określane jako „ekologiczne” rzeczywiście charakteryzują się mniejszym wpływem na środowisko. Przykładowo, torby bawełniane czy bioplastiki, mimo pozytywnego wizerunku, mogą generować większy ślad węglowy i wymagać intensywnego zużycia zasobów naturalnych. Z kolei torby polipropylenowe i poliestrowe, przy wielokrotnym użytkowaniu, wykazują lepszą efektywność ekologiczną, co potwierdzają analizy LCA.

W kontekście gospodarczym i technologicznym kluczową rolę odgrywa rozwój innowacyjnych technologii recyklingu – zarówno mechanicznego, jak i chemicznego – oraz metod odzysku energii, które umożliwiają ponowne wykorzystanie surowców i ograniczenie emisji zanieczyszczeń. Technologie takie jak piroliza, gazyfikacja czy hydroliza pozwalają na zamknięcie obiegu materiałowego i ograniczenie ilości odpadów trafiających na składowiska.

Analiza problemu *greenwashingu* wykazała, że jednym z głównych zagrożeń dla skutecznej ochrony środowiska jest stosowanie przez przed-

siębiorstwa strategii marketingowych, które jedynie pozornie promują działania proekologiczne. Zjawisko to zniekształca percepcję konsumentów i utrudnia weryfikację rzeczywistych efektów środowiskowych. W związku z tym konieczne jest wdrażanie bardziej przejrzystych regulacji oraz rzetelnych narzędzi oceny środowiskowej, które pozwolą ograniczyć wpływ działań o charakterze pozornym. W zakresie zanieczyszczenia mórz i oceanów wykazano, że jego główne źródła nie są związane z produktami jednorazowego użytku, takimi jak słomki czy torby foliowe, lecz z porzuconym sprzętem rybackim i odpadami przemysłowymi. Dlatego efektywna redukcja odpadów plastikowych w środowisku wodnym wymaga kompleksowych działań systemowych, łączących regulacje prawne, edukację społeczną i rozwój technologii oczyszczania ekosystemów morskich.

Nie bez znaczenia pozostaje rola konsumentów, którzy poprzez świadome decyzje zakupowe i wielokrotne wykorzystanie dostępnych produktów mogą realnie ograniczać negatywny wpływ na środowisko. Odpowiedzialna konsumpcja, wsparta innowacyjnymi rozwiązaniami technologicznymi oraz transparentną komunikacją ekologiczną, stanowi fundament rzeczywistego zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, problem tworzyw sztucznych i ich alternatyw nie może być postrzegany w kategoriach prostych rozwiązań. Jedynie zintegrowane podejście – obejmujące rozwój technologii recyklingu, edukację społeczną, regulacje prawne oraz rzetelne praktyki biznesowe, może prowadzić do osiągnięcia równowagi między potrzebami gospodarczymi a ochroną środowiska naturalnego.

Interesy konkurencyjne:

Autor oświadczył, że nie istnieje konflikt interesów.

Competing interests:

The author has declared that no competing interests exists.

Wkład autorów

Konceptualizacja: Monika Muszyńska

Analiza formalna: Monika Muszyńska

Metodologia: Monika Muszyńska

Opracowanie artykułu – projekt, przegląd i redakcja: Monika Muszyńska

Authors contributions

Conceptualization: Monika Muszyńska

Formal analysis: Monika Muszyńska

Methodology: Monika Muszyńska

Writing – original draft, review and editing: Monika Muszyńska

Bibliografia

- Bratman E. (2020), *Greenwashing and the Politics of Responsibility*, Environmental Politics, 29(3), s. 490–493
- Delmas M. A., Burbano V. C. (2011), *The Drivers of Greenwashing*, “California Management Review”, 54(1), s. 65–67.
- European Commission (2022), *EU Taxonomy for Sustainable Activities – Delegated Acts*, Publications Office of the EU, Brussels, s. 4–6.
- Focus.pl (2023), *Wmawiano nam coś innego. Papierowe słomki wcale nie są ekologiczne*, <https://www.focus.pl/artykul/papierowe-slomki-zawieraja-pfas>, 28.09.2024.
- Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L. (2017), *Production, use, and fate of all plastics ever made*, “Science Advances”, 3(7).
- Groffen T. i in. (2023), *Assessment of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in commercially available drinking straws using targeted and suspect screening approaches*, “Food Additives & Contaminants: Part A”, 40(8), 1421–1433.
- Lyon T. P., Montgomery A. W. (2015), *The Means and End of Greenwash*, “Organization & Environment”, 28(2), s. 226–228.
- Ministerstwo Środowiska Danii (2018), *Life Cycle Assessment of grocery carrier bags*, <https://mobirank.pl/2018/05/13/czy-bawelniane-torby-sa-lepsze-dla-srodowiska-niz-plastikowe/>, 28.09.2024.
- Ragaert K., Delva L., Van Geem K. (2017), *Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste*, “Waste Management”, 69, 24–58.
- Rujnić-Sokele M., Pilipović A. (2017), *Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review*, “Waste Management & Research”, 35(2), 132–140.
- Singh N., Hui D., Singh R., Ahuja I. P. S., Feo L., Fraternali F. (2017), *Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications*, “Composites Part B: Engineering”, 115, 409–422.
- The Ocean Cleanup (2021), *The Great Pacific Garbage Patch*, <https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/>, 28.09.2024.
- United Nations Environment Programme (2018), *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*, <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>, 28.09.2024.

Are we Eco? The Role of Technology in Revolutionizing the Plastics Industry

Summary

In an era of growing environmental awareness, the plastics industry faces an urgent challenge to reduce its carbon footprint and environmental impact. Technology plays a key role in this process, not only supporting sustainable development but also enabling energy recovery from production processes. Innovations such as pyrolysis and advanced catalytic methods allow for partial recovery and reuse of energy consumed in manufacturing, thereby reducing reliance on primary energy sources. However, alongside the rising trend of eco-friendly production, the issue of greenwashing is also becoming more prominent. Some companies, institutions, and media outlets promote their actions as environmentally friendly without delivering real ecological benefits, leading to consumer misinformation.

Key words: plastics, greenwashing, recycling, circular economy, LCA

